



CONFÉDÉRATION SUISSE
OFFICE FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(51) Int. Cl.³: G 09 F

9/37

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein
Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein



(12) FASCICULE DU BREVET A5

(11)

633 902

(21) Numéro de la demande: 1890/80

(73) Titulaire(s):
Centre Electronique Horloger S.A., Neuchâtel 7

(22) Date de dépôt: 11.03.1980

(72) Inventeur(s):
Pierre-André Grandjean, Neuchâtel
Martyn Andrew Cadman, Hauterive
Raymond Vuilleumier, Fontainemelon
Raymond Guye, Colombier NE

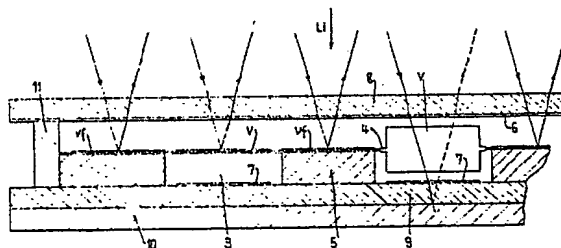
(24) Brevet délivré le: 31.12.1982

(45) Fascicule du brevet
publié le: 31.12.1982

(74) Mandataire:
Ammann Patentanwälte AG Bern, Bern

(54) Dispositif de modulation de lumière.

(57) Le dispositif de modulation de lumière comprend une pluralité de volets fixes (V_f) et mobiles (V) formés sur un support (5) en silicium en utilisant la technologie des circuits intégrés. Les volets mobiles sont maintenus au support (5) par des attaches élastiques (4) servant de ressorts de rappel. Les volets sont montés entre deux plaques de verre (8, 9) porteuses d'électrodes transparentes (6, 7) susceptibles de créer un champ électrique local à l'endroit des volets mobiles afin de mettre ceux-ci en rotation autour des attaches. Un absorbeur (10), placé sous la plaque de verre inférieure (9), permet l'utilisation du dispositif pour un affichage alphanumérique à contraste élevé. Le dispositif peut aussi être utilisé comme valve optique à commande électronique. Le dispositif fonctionne sous une faible tension de commande, et possède une consommation d'énergie extrêmement faible.



REVENDECATIONS

1. Dispositif miniature de modulation de la lumière, caractérisé en ce qu'il comporte

- un support plan pourvu d'une pluralité de cavités;
- au moins un volet par cavité maintenu audit support et dans son plan par des attaches élastiques; et
- une paire d'électrodes par volet ou groupe de volets disposées de part et d'autre du volet, ou groupe de volets, de manière à créer un champ électrique localisé, perpendiculaire au plan dudit support et suffisant pour entraîner ledit volet en rotation.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit support est réalisé dans un matériau isolant, en ce qu'il est placé dans une enceinte fermée et baigne dans un milieu isolant dont la constante diélectrique est différente de celle desdits volets et en ce que ladite enceinte présente au moins une face transparente sur laquelle est placée une électrode de ladite paire, l'électrode étant elle-même transparente.

3. Dispositif selon la revendication 1 ou la revendication 2, caractérisé en ce qu'une électrode de ladite paire est commune à plusieurs volets ou groupes de volets.

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1, 2 et 3, caractérisé en ce que lesdites attaches élastiques maintenant chaque volet audit support sont situées de part et d'autre dudit volet.

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le fond desdites cavités est constitué en un matériau absorbant tout ou partie des radiations lumineuses.

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que le fond desdites cavités est constitué par des couches interférentielles.

7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que ledit support est constitué dans un matériau semiconducteur.

8. Dispositif selon la revendication 7, caractérisé en ce que ledit support est réalisé en silicium.

9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que lesdites attaches sont réalisées en oxyde de silicium.

10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que lesdits volets sont constitués par une couche d'oxyde de silicium et une couche de métal.

11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que lesdits volets sont réalisés en aluminium.

12. Dispositif selon la revendication 11, caractérisé en ce que lesdites attaches sont réalisées en aluminium.

13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 2 à 12, caractérisé par le fait que ledit milieu isolant est teinté de pigments colorés.

14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que lesdits volets sont arrangés en matrice et en ce que ledit support est muni de moyens d'adressage des paires d'électrodes associées auxdits volets.

15. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, caractérisé en ce que certains volets sont liés de manière fixe audit support.

16. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 15, caractérisé en ce que lesdits volets ont une longueur de l'ordre de 300 microns et une largeur de l'ordre de 20 microns.

17. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que lesdites attaches ont une forme en U.

18. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que lesdites attaches ont une forme en T.

19. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que lesdites attaches ont une forme en S.

20. Procédé de fabrication du support du dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 19, caractérisé par le fait qu'il comporte la suite des étapes de fabrication ci-après:

sur une plaque de base en silicium (Si) de type n, ayant une face et un dos,

- faire croître une couche d'oxyde de silicium (SiO_2) sur le dos,

5 - créer une couche de type p^+ sur ladite face,

- déposer une couche d'oxyde de silicium (SiO_2) sur ladite face,

- découper lesdites attaches (4) sur ladite face,

- métalliser ladite face,

10 - découper lesdits volets dans la métallisation de ladite face,

- découper la couche d'oxyde de silicium sur le dos,

- attaquer le silicium au dos de la plaque jusqu'à la couche

p^+ , et

15 - libérer les volets mobiles (V) par élimination de la couche de type p^+ sur la face polie.

21. Utilisation du dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 19 pour un affichage de type alphanumérique à éléments d'affichage, caractérisé par le fait que chaque élément d'affichage comprend au moins un desdits volets mobiles (V),

20 lesdits éléments (1, 2) étant disposés en forme de matrice et séparés entre eux par des volets fixes (V_f) formés sur ledit support (5), lesdits volets étant montés entre une première (8) et une seconde (9) plaques dont l'une au moins est transparente, lesdites plaques étant porteuses desdites électrodes (6, 7), ledit

25 affichage comprenant encore un absorbeur (10) absorbant tout ou partie de la lumière incidente, ledit absorbeur étant placé sur l'une desdites plaques (9), du côté du dispositif opposé à celui recevant la lumière incidente.

22. Utilisation selon la revendication 21, caractérisé par le fait que lesdits volets sont colorés par de fines couches interférentielles ou absorbantes.

23. Utilisation selon la revendication 21, caractérisé par le fait que ledit absorbeur (10) est une couche déposée sur une face de la seconde plaque de verre (9).

La présente invention concerne un dispositif miniature de modulation de lumière.

On connaît par le document «An Electrostatic Sign - The Distec System, W.R. Aiken, Display Technology Corp., Cupertino, Cal., USA», un dispositif d'affichage utilisant des volets.

Le dispositif comprend des modules formés eux-mêmes d'une pluralité de volets susceptibles de prendre deux positions sous l'action d'un champ électrique appliqué à un système spécial d'électrodes. Les volets tournent autour d'un axe et occupent soit une position où ils sont vus de face (réflexion de la lumière), soit une position où ils sont vus de profil (absorption de la lumière). Cependant, un tel dispositif est encombrant, il ne permet pas de véritable miniaturisation, exige une tension de service élevée et présente une certaine complexité du fait qu'il nécessite trois électrodes pour la commande de chaque volet.

Le brevet américain US 3 648 281 décrit un dispositif d'affichage électromécanique à commande électrostatique. Des plaquettes conductrices sont placées par un de leurs petits côtés dans une encoche en forme de V d'un support comportant deux électrodes et maintenues dans cette encoche par un champ magnétique. Les faces opposées des plaquettes sont de couleurs différentes. Sous l'action d'un champ électrique appliqué de manière adéquate entre la plaquette et l'une des deux électrodes du support, la plaquette pivote dans l'encoche en V, autour de son petit côté et vient se coucher sur l'une ou l'autre des deux électrodes, de sorte que l'oeil voit l'une ou l'autre couleur. Un tel dispositif ne permet toutefois pas de véritable miniaturisation, exige une tension de commande élevée et le système ne fonctionne qu'en réflexion-absorption de la lumière incidente.

Le document US 3 319 246 décrit un dispositif de signalisation dans lequel des volets sont déplacés d'une position horizontale à une position verticale par application de charges électrostatiques à un système d'électrodes adéquat. Le dispositif nécessite plusieurs électrodes et interrupteurs pour chaque volet, exige une tension de commande élevée et ne fonctionne qu'en réflexion-absorption de la lumière incidente.

Le document US 3 210 757 décrit un dispositif d'affichage comportant des volets montés en suspension verticale sur des fils autour desquels ils peuvent tourner sous l'action de charges électriques déposées de manière adéquate. Le dispositif ne comporte pas de ressorts de rappel pour les volets, de sorte qu'il ne fonctionne qu'en position verticale. Il exige en outre une tension de commande élevée.

Le document US 1 963 496 décrit une valve optique comportant des particules en suspension dans un milieu non conducteur et transparent à la lumière. Les particules sont séparées l'une de l'autre et elles sont orientables sous l'action d'un champ électrique. Dans une telle valve, les particules sont réparties en principe uniformément dans le milieu, de sorte qu'elles ne forment pas une structure géométrique, par exemple en forme de matrice, et elles ne sont pas adressables individuellement.

Le dispositif miniature de modulation de lumière de consommation réduite dont il est question ici se prête bien à la réalisation par la technologie des circuits intégrés électroniques, ledit dispositif comportant une pluralité de volets susceptibles d'être mis en rotation individuellement ou en groupe sous l'action d'un champ électrique, l'angle de rotation des volets par rapport à une référence fixe influençant les propriétés de réflexion ou de transmission de la lumière incidente.

Pour atteindre ce but, le dispositif de modulation de lumière selon l'invention est caractérisé par le fait qu'il comporte

- un support plan pourvu d'une pluralité de cavités;
- au moins un volet par cavité maintenu audit support et dans son plan par des attaches élastiques; et
- une paire d'électrodes par volet ou groupe de volets disposées de part et d'autre du volet, ou groupe de volets, de manière à créer un champ électrique localisé, perpendiculaire au plan dudit support et suffisant pour entraîner ledit volet en rotation.

Le système d'électrodes de commande est simplifié par le fait que les volets sont remis dans leur position de repos par leurs attaches élastiques formant ressort de rappel. En outre, le principe du dispositif lui donne l'avantage de présenter un contraste très élevé, de fonctionner sous une faible tension de commande, continue ou alternative, compatible avec celle que l'on rencontre dans les appareils portatifs alimentés par des piles, d'avoir une consommation d'énergie extrêmement faible, de présenter une bonne esthétique, de permettre un grand choix de matériaux et de couleurs différents pour les volets et d'avoir une excellente stabilité des composants à long term.

L'invention va être décrite ci-dessous à titre d'exemple et à l'aide des dessins joints dans lesquels:

- la figure 1 illustre schématiquement le principe du dispositif selon l'invention,
- la figure 2 est une vue en coupe d'un affichage utilisant le dispositif de la figure 1,
- la figure 3 illustre différentes formes possibles d'exécution des suspensions des volets,
- la figure 4 montre le principe d'une valve optique utilisant le dispositif selon l'invention,
- les figures 5 à 13 représentent les états de la plaque de base au cours des différentes étapes de fabrication; chaque figure montre en a) une vue de face, en b) une vue de dos et en c) une coupe de la plaque vue de profil,
- la figure 14 montre une forme d'exécution d'une cellule d'affichage pour 1 chiffre à 7 segments,
- la figure 15 montre un détail agrandi de la figure 14,

- la figure 16 montre la désignation des segments de l'affichage à 7 segments de la figure 14,
- la figure 17 est le schéma-bloc de la commande de la cellule de la figure 14.

La figure 1 est un schéma permettant d'exposer les principes de la présente invention. Une pluralité de volets sont disposés régulièrement sur un support isolant 5. Les volets, de forme rectangulaire, sont de deux sortes: des volets fixes V_f et des volets mobiles V_1 à V_4 . Ces derniers sont disposés au-dessus de 10 fenêtres ou cavités 3, formées dans le support 5, et sont maintenus audit support par des attaches élastiques 4, de sorte que, sous l'action d'un champ électrique E perpendiculaire au plan du support, les volets mobiles tels V_1 et V_2 prennent une orientation sensiblement parallèle audit champ appliqué. Il est bien 15 évident que l'orientation des volets mobiles dépend de l'intensité du champ électrique et du couple de rappel exercé par les attaches 4 lorsque les volets ont quitté leur position de repos. Le support 5 est réalisé dans un matériau semiconducteur, tel le silicium ou le germanium; les volets sont constitués d'au moins 20 une couche de matériau semiconducteur et/ou de métal; et les attaches sont réalisées en métal, en alliage, en semiconducteur ou en oxyde. Les différents constituants énumérés ci-dessus ne sont, bien entendu, donnés qu'à titre d'exemple non limitatif et d'autres constituants pourraient également être utilisés comme 25 on le verra plus loin. Toutefois, il importe que les conditions suivantes soient remplies, à savoir: le support doit être isolant; les volets mobiles doivent être constitués au moins d'un matériau ayant une constante diélectrique différente de celle du milieu dans lequel ils baignent et l'ensemble des volets fixes ou 30 mobiles doit présenter une face supérieure de constitution et/ou de couleur différentes de celles du fond des cavités 3; et les attaches doivent posséder une élasticité appréciable.

La figure 2 montre, en coupe, une vue partielle d'un dispositif de modulation de la lumière selon l'invention. On retrouve le 35 support 5 muni de cavités 3, les volets fixes V_f et les volets mobiles V munis de leurs attaches élastiques 4. Le support 5 repose sur une plaque transparente 9, laquelle comporte, sur sa face supérieure, des électrodes transparentes 7 disposées en regard des volets mobiles V et, sur sa face inférieure, une couche 40 10 en matériau absorbant les radiations lumineuses. Une deuxième plaque transparente 8 est disposée au-dessus des volets et maintenue à distance convenable par des éléments espaceurs 11. La plaque 8 comporte sur sa face inférieure une électrode également transparente 6 qui est commune à tous les volets mobiles. 45 V. A titre d'exemple, les plaques transparentes 8 et 9 sont en verre et les électrodes transparentes sont constituées par des films d'oxyde d'indium et d'étain.

Du point de vue électrique, le fonctionnement du dispositif est le suivant. En l'absence d'un champ électrique entre les électrodes 6 et 7, les attaches maintiennent les volets parallèles au plan du support 5. Lorsqu'une tension continue ou alternative est appliquée entre l'électrode commune 6 et l'électrode 7 correspondant à un volet mobile déterminé, le champ électrique créé entre les électrodes induit des dipôles dans le volet concerné, ce qui produit un couple résultant faisant tourner le volet 55 autour de ses attaches élastiques. Le volet mobile effectue alors une rotation jusqu'à ce que les couples de rappel dus aux attaches élastiques équilibrent le couple induit électriquement. Les volets mobiles tournent donc de 90° au plus puisque pour cet angle, le couple électrique s'annule. Signalons cependant qu'il est tout de même possible d'obtenir une rotation de 90° et plus en mettant le système en résonance mécanique sous une excitation électrique adéquate.

Le dimensionnement des attaches élastiques est effectué en 65 fonction de couple maximum créé par le champ électrique, sachant que ce couple est maximum lorsque le volet est env. à 45° et qu'il est approximativement égal à l'énergie électrique par radian emmagasinée dans le volume balayé par une rotation

complète du volet. Ainsi, pour un volet ayant une largeur de 100 μm baignant dans l'air et placé dans un champ de 10^5 V/m , le couple maximum vaut environ 2.10^{-13} Nm par unité de longueur du volet. Le couple exercé diminue de moitié lorsque le volet est à 75° . Le couple de rappel des attaches élastiques doit être inférieur au couple maximum créé par le champ électrique de manière à permettre une rotation suffisante du volet. De bons résultats sont obtenus lorsque les attaches élastiques sont réalisées en oxyde de silicium (SiO_2). L'oxyde de silicium assure à la fois l'élasticité requise et la résistance aux chocs.

La consommation du dispositif vaut approximativement deux fois l'énergie emmagasinée électrostatiquement dans une cellule d'affichage dépourvue de son volet, c'est-à-dire qu'elle est inférieure à 1 nJ/cm^2 par cycle pour une cellule de 100 μm d'épaisseur opérant sous 10 volts dans l'air (10 nJ/cm^2 cycle pour 10 μm d'épaisseur). Cette consommation est inférieure de plusieurs ordres de grandeur à celle de cellules d'affichage dites à faible consommation. Cette très faible consommation de l'affichage avec diélectrique gazeux (air) ou sous vide permet d'utiliser sans difficultés et sans pertes importantes des multiplicateurs de tension intégrés pour engendrer la tension commande requise à partir de piles de faible capacité.

L'utilisation d'un diélectrique liquide permet de multiplier le couple électrique induit par $\epsilon_r =$ constante diélectrique relative. Pour un système donné, ceci permet de réduire la tension requise aux électrodes d'un facteur valant approximativement $2\sqrt{\epsilon_r}$, car, comme il sera indiqué plus loin, une rotation d'au maximum 45° est dans ce cas suffisante pour un bon fonctionnement optique en raison du trappage de la lumière dans la cellule. Pour un diélectrique liquide ne présentant ni conduction ionique ni conduction électronique, cette solution permet de réduire encore la consommation d'un facteur 4. Toutefois, si le temps de réponse des volets est très court dans l'air, inférieur à 100 μs , il est beaucoup plus long dans un diélectrique liquide.

Différentes variantes d'exécution des volets, des attaches et des supports, telles que celles indiquées ci-après, rentrent aussi dans le cadre générale de l'invention:

Les volets mobiles peuvent

- être constitués d'une couche au moins d'un matériau nettement plus polarisable que le diélectrique qui les entoure (on peut aussi utiliser des métaux, des semiconducteurs dopés ou non dopés, des matériaux piézoélectriques, etc),
- posséder des formes autres que rectangulaires,
- être entourés d'un diélectrique gazeux ou liquide aussi isolant que possible, ayant une faible constante diélectrique et une faible viscosité (par exemple, les gaz nobles, non-réactifs, raréfiés, les liquides tels que les huiles fluides),
- être fixés aux attaches élastiques en dehors de leur axe de symétrie,

- ne pas être tous dans le même plan.

Les attaches élastiques peuvent:

- être constituées de matériaux divers tels que par exemple: les métaux et les alliages d'argent, d'aluminium, d'or, de chrome, de cuivre, de fer, etc; les semiconducteurs tels que le silicium, le germanium, etc.; les oxydes de silicium (SiO_2), d'aluminium (Al_2O_3), de titane (TiO_2) de zirconium (ZrO_2) etc., les matériaux polycristallins; les plastiques; les dérivés du latex;
- avoir des formes diverses pour posséder l'élasticité requise. (Des attaches en forme de S ou de U sont représentées aux figures 3a et 3b et portent les références 12 et 13 respectivement alors que la figure 13b montre des attaches en forme de T)

Le support peut

- être en matériau différent du silicium,
- être recouvert partiellement ou complètement d'une ou de plusieurs couches de matériaux,
- présenter des cavités dégageant tout ou partie de l'épaisseur du support. La fabrication de cavités sous une membrane dans un support semiconducteur est décrite dans un article de

K.E. Petersen intitulé «Micromechanical Membrane Switches on Silicon» et paru dans la revue IBM J. Res. Develop., Vol. 23, No 4, July 1979.

La figure 4 montre une variante du dispositif de la figure 2 dans laquelle le matériau absorbant a été supprimé. Comme les deux plaques 8 et 9 ainsi que les électrodes 6 et 7 sont transparentes, le dispositif peut être utilisé comme valve optique.

Le fonctionnement des dispositifs des figures 2 et 4 est le suivant. En l'absence de champ électrique, tous les volets sont en position de repos et présentent leur grande surface à la lumière incidente L_i . Lorsqu'une tension suffisante est appliquée aux électrodes 6 et 7, associées à un volet, ledit volet tourne autour de ses attaches et ne présente plus qu'une surface réduite (égale à la surface latérale du volet dans le meilleur cas) à la lumière incidente. On conçoit dès lors, dans l'exemple de la figure 2, il soit possible de réaliser un dispositif d'affichage dont les volets ou groupes de volets constituent les éléments actifs. Un fort contraste et un bon effet esthétique peuvent être obtenus avec des volets métallisés réfléchissants et/ou diffusants et un matériau absorbant de couleur foncée ou vive. Dans le cas du dispositif de la figure 4, l'application ou non d'une tension entre les électrodes associées à un volet permet ou empêche la transmission à travers le dispositif de la lumière incidente. Le dispositif de la figure 4 constitue donc un ensemble de valves optiques électriquement adressables. Dans le cas où un diélectrique autre que l'air ou le vide est utilisé dans le dispositif de modulation de lumière de la figure 2, le champ électrique de commande ne doit plus nécessairement aligner verticalement les volets pour produire un affichage pleinement contrasté. Il suffit en effet que les volets fassent un angle β par rapport à leur position de repos tel que:

$$\beta \geq \arcsin \frac{1}{n}$$

où n est l'indice de réfraction du diélectrique, pour que la lumière incidente réfléchi par les volets soit «trappée» dans la cellule. En pratique, on choisira comme diélectrique un liquide ayant un indice de réfraction de l'ordre de grandeur de $n = 1,5$, ce qui donne un angle $\beta \geq 41,8^\circ$.

Visuellement, ce phénomène équivaut à une absorption de la lumière trappée, de sorte que les cavités partiellement dégagées par les volets apparaissent par exemple en foncé (couleur du fond des cavités) sur fond métallisé (teinte des volets).

Les variantes ci-après peuvent constituer des généralisations optiques entrant dans le cadre général de l'invention:

- Les volets peuvent être réalisés de manière à présenter non seulement l'aspect d'un dépôt métallisé réfléchissant et/ou diffusant, mais ils peuvent aussi être colorés par le dépôt de fines couches interférentielles (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , etc) ou absorbantes (dépôts amorphes de semiconducteurs et autres matériaux).

- Des pigments colorés peuvent être incorporés au diélectrique liquide,

- L'absorbeur peut absorber tout ou partie du spectre visible, être constitué soit par une plaque séparée, soit par une couche déposée sur l'une des faces de la plaque de verre inférieure 9, portant les électrodes 7 transparentes ou encore par un dépôt au fond des cavités.

Les différentes étapes ou phases du procédé de fabrication du dispositif sont décrites à titre d'exemple ci-dessous.

Le matériau de base est une plaque en silicium dont les caractéristiques sont les suivantes:

diamètre: environ 5 cm (2 inches) résistivité: 3-5 ohm cm
épaisseur: environ 280 μm orientation: (100)

Le procédé est décrit à l'aide des figures 5-13. Dans chaque figure, trois vues, notées a, b et c, représentent respectivement une vue de la face polie, une vue du dos et une vue de profil en

coupe. Bien qu'un seul volet ait été représenté par souci de simplification, il est bien évident qu'en réalité, le procédé permet de réaliser simultanément une pluralité de volets mobiles et fixes sur la même plaque de silicium.

Etape 1. Faire croître une couche d'oxyde de silicium d'épaisseur 2 µm sur le dos de la plaque (Figure 5).

La plaque est placée dans un four d'oxydation à haute température. Un oxyde se forme sur toute la surface de la plaque. L'épaisseur de l'oxyde formé dépend de la température, de la nature des gaz et du temps de cuisson.

Le dos de la plaque est recouvert d'une couche de photoresist, tel que fabriqué par la société Hunt sous le nom de «Waycoat», qui le protège pendant l'opération suivante. La plaque est placée dans une solution d'acide fluorhydrique tamponné qui attaque l'oxyde exposé. La couche de photoresist est enlevée

Etape 2. Créer une couche de type p⁺ sur la face polie (Figure 6)

Une couche de «Vapox-bore» c'est-à-dire d'oxyde de silicium dopé au bore déposé par le procédé CVD (Chemical Vapor Deposition), est déposée sur la face polie dans un réacteur. Ensuite, une diffusion est effectuée à haute température sous atmosphère d'azote pendant un temps court pour que le bore diffuse dans le silicium. Le dos de la plaque est alors protégé avec du photoresist et les restes de la couche Vapox-bore sont attaqués par ladite solution d'acide fluorhydrique tamponné. La couche de photoresist est ensuite enlevée.

Etape 3. Dépôt d'une couche de Vapox sur la face polie (Figure 7)

Cette couche est destinée à former les attaches élastiques. Elle a une épaisseur de 800 Å. La plaque est placée dans un réacteur et une couche de Vapox est déposée sur la face polie.

Etape 4. Découpage des attaches (Figure 8)

La face polie est recouverte d'une couche de photoresist qui est exposée avec un masque convenable et développée. Les suspensions sont ensuite découpées par une attaque sélective au moyen de ladite solution d'acide fluorhydrique tamponné. Le photoresist est ensuite enlevé.

Etape 5. Métallisation sur la face polie (Figure 9)

Cette couche d'aluminium est destinée à former les volets. Elle a une épaisseur de 2000 Å. La plaque est placée dans un évaporateur et la couche d'aluminium est déposée sur la face polie.

Etape 6. Découpage des volets (Figure 10)

La face polie est couverte avec une couche de photoresist qui est exposée avec un masque convenable et développée. Les volets sont découpés à l'aide d'une solution attaquant l'aluminium. Le photoresist est ensuite enlevé.

Etape 7. Découpage de la couche d'oxyde de silicium sur le dos (Figure 11).

La face polie est protégée avec une couche de photoresist négatif. Le dos est couvert avec une couche de photoresist positif qui est exposée avec un masque convenable et développée. L'oxyde de silicium est découpé par une solution d'acide fluorhydrique tamponné. Les deux couches de photoresist sont ensuite enlevées. Cette opération sert à former un masque d'oxyde de silicium sur le dos pour l'opération suivante.

Etape 8. Ouverture des fenêtres dans la plaque (Figure 12).

La face polie est protégée par un montage adéquat et le dos de la plaque est attaqué par une solution connue pour attaquer le silicium. Des fenêtres sont ouvertes dans la plaque. L'attaque s'arrête à la couche de type p⁺.

Etape 9. Libération des volets (Figure 13).

La plaque est placée dans un réacteur à plasma avec un support qui protège la face polie. La couche de type p⁺ est attaquée et éliminée. Les attaches et les volets sont alors dégagés.

La plaque, qui en réalité comporte une pluralité de volets fixes et mobiles est ensuite découpée en un certain nombre d'unités, chacune de celles-ci étant assemblée dans un module de lumière, avec les plaques transparentes 8 et 9, porteuses des électrodes de commande 6 et 7. En outre, dans le procédé ci-dessus, il est évident que le nombre de volets par fenêtre peut être supérieur à un, de même que le nombre de fenêtres par plaque, les volets étant arrangés de préférence en forme de matrice.

La figure 14 montre à titre d'exemple la disposition d'une cellule d'affichage pour un chiffre à 7 segments utilisant le dispositif de modulation de lumière décrit ci-dessus. On y retrouve les éléments décrits dans la figure 2, désignés par les mêmes numéros de référence, sauf l'absorbeur qui a été enlevé pour indiquer qu'un tel affichage peut aussi être utilisé en transmission de lumière. On reconnaît la plaque de verre transparente 8 et l'électrode commune 6, le support 5 pour les volets et les cavités permettant aux volets mobiles de tourner autour de leurs attaches, l'espaceur 11 qui peut être un simple cadre plastique, sa fonction n'étant que de fixer la distance entre les électrodes lorsque l'air est choisi comme diélectrique entourant les volets, et la plaque de verre inférieure 9 supportant les électrodes transparentes 7 d'adressage des volets mobiles. Ces électrodes désignées respectivement par les lettres a à g, correspondent respectivement aux segments A à G du chiffre, comme indiqué dans la figure 16. Dans l'exemple de la figure 14, le segment D est formé de 3 éléments, constitués chacun par 3 volets mobiles V, comme indiqué dans le détail agrandi de la figure 15. Il en est de même pour les segments A, B, F et G, alors que les segments C et E sont constitués par 4 éléments de 3 volets chacun.

La réalisation d'un affichage à 7 segments sous la forme d'une matrice de volets simplifiée, comme celle de la figure 14, montre que le principe proposé peut être exploité pour réaliser une matrice plus complexe de valves optiques ou d'éléments d'affichage.

Les électrodes déposées sur les plaques de verre 8 et 9 sont réalisées selon les techniques connues des affichages à cristaux liquides, comme par exemple: dépôt d'une couche d'oxyde d'indium et d'étain par le procédé CVD ou pulvérisation cathodique, gravage puis isolation éventuelle par déposition d'un oxyde (p.ex. SiO₂) ou d'un nitrure (p.ex. Si₃N₄) pour constituer des électrodes dites «bloquantes».

Le support 5 peut être intégré à l'une des plaques de verre supportant les électrodes et il peut être réalisé entre autres par évaporation ou par le procédé CVD (p.ex. Si polycristallin).

Dans le cas où un diélectrique liquide entourant les volets est utilisé, on peut faire appel aux techniques qui ont été développées pour l'encapsulation des cellules à cristaux liquides.

La figure 17 montre le schéma-bloc de la commande de la cellule d'affichage à 7 segments, A-G, de la figure 14. Dans la figure 17, la cellule d'affichage est représentée sans le support des volets afin de montrer la forme et le recouvrement des électrodes.

Chaque élément de l'affichage constitue un condensateur variable selon la position des volets et chaque capacité ainsi constituée varie en fonction de la tension de commande appliquée entre l'électrode commune 6 et les électrodes a-g d'adressage des volets mobiles. La capacité double approximativement entre la position de travail ou activée (volets dans un plan perpendiculaire à celui du support) et la position de repos (volets dans le plan du support). Comme le système est capacitif, il présente une mémoire dont la durée utile de mémorisation dépend des courants de fuite de l'électronique de commande. Cet-

te particularité peut être exploitée dans certaines applications pratiques, telles que l'affichage d'images sur un écran. La figure 17 montre que les segments sont commandés par des inverseurs 17-17' à 23-23' formés de transistors MOS complémentaires. Dans l'exemple décrit, les transistors 17-23 sont du type p et les transistors 17'-23' du type n. Dans chaque paire, la source S du transistor de type p est reliée au pôle positif d'une source d'alimentation 24 et le drain D du transistor p est relié au drain du transistor n dont la source S est reliée au pôle négatif de la source 24. Les drains de chaque paire sont reliés à l'électrode d'adressage correspondante: les drains de la paire 17-17' à l'électrode a, les drains de la paire 18-18' à l'électrode b, et ainsi de suite jusqu'aux drains de la paire 23-23' qui sont reliés à l'électrode g. Les grilles G des transistors p et n de chaque paire sont reliées entre elles et à l'une des sorties a'-g' d'un décodeur 25, de type connu, dont les entrées E1-E4 sont reliées respectivement aux sorties d'un registre-tampon 26, recevant l'information décimale codée en binaire correspondant aux segments à activer. Ce registre-tampon 26 est commandé par un décodeur d'adresse 27 recevant d'un circuit non représenté l'adresse du chiffre à afficher. Le décodeur d'adresse 27 envoie alors au registre-tampon 26 un signal d'activation lui permettant d'enregistrer ladite information décimale codée en binaire appliquée sur ses entrées. Les inverseurs 17-17' à 23-23' détermi-

nent la tension de commande entre l'électrode commune 6 et les électrodes a-g d'adressage des segments. Pour les sorties du décodeur 25 qui sont au niveau logique correspondant au potentiel positif de la source 24, les transistors MOS à canal n des inverseurs correspondants sont conducteurs et les transistors à canal p sont bloqués. Le potentiel négatif de la source des transistors à canal n est alors transmis aux électrodes d'adressage correspondantes, tandis que l'électrode commune 6 est toujours reliée au potentiel positif de la source 24. Cette condition entraîne le basculement des volets et en conséquence l'affichage des segments concernés. Pour les sorties du décodeur 25 qui sont au niveau logique correspondant au potentiel négatif de la source 24, ce sont les transistors MOS à canal p des inverseurs correspondants qui sont conducteurs et les transistors à canal n qui sont bloqués. Cette condition correspond à une très faible tension résiduelle entre les électrodes d'adressage des segments concernés et l'électrode commune 6. Cette tension résiduelle est insuffisante pour provoquer le basculement des volets, de sorte que les segments concernés ne sont affichés.

Bien que la présente invention ait été décrite dans le cadre d'exemples de réalisation particuliers, il est clair cependant qu'elle n'est nullement limitée auxdits exemples et qu'elle est susceptible de modifications ou de variantes sans sortir de son domaine.

FIG. 1

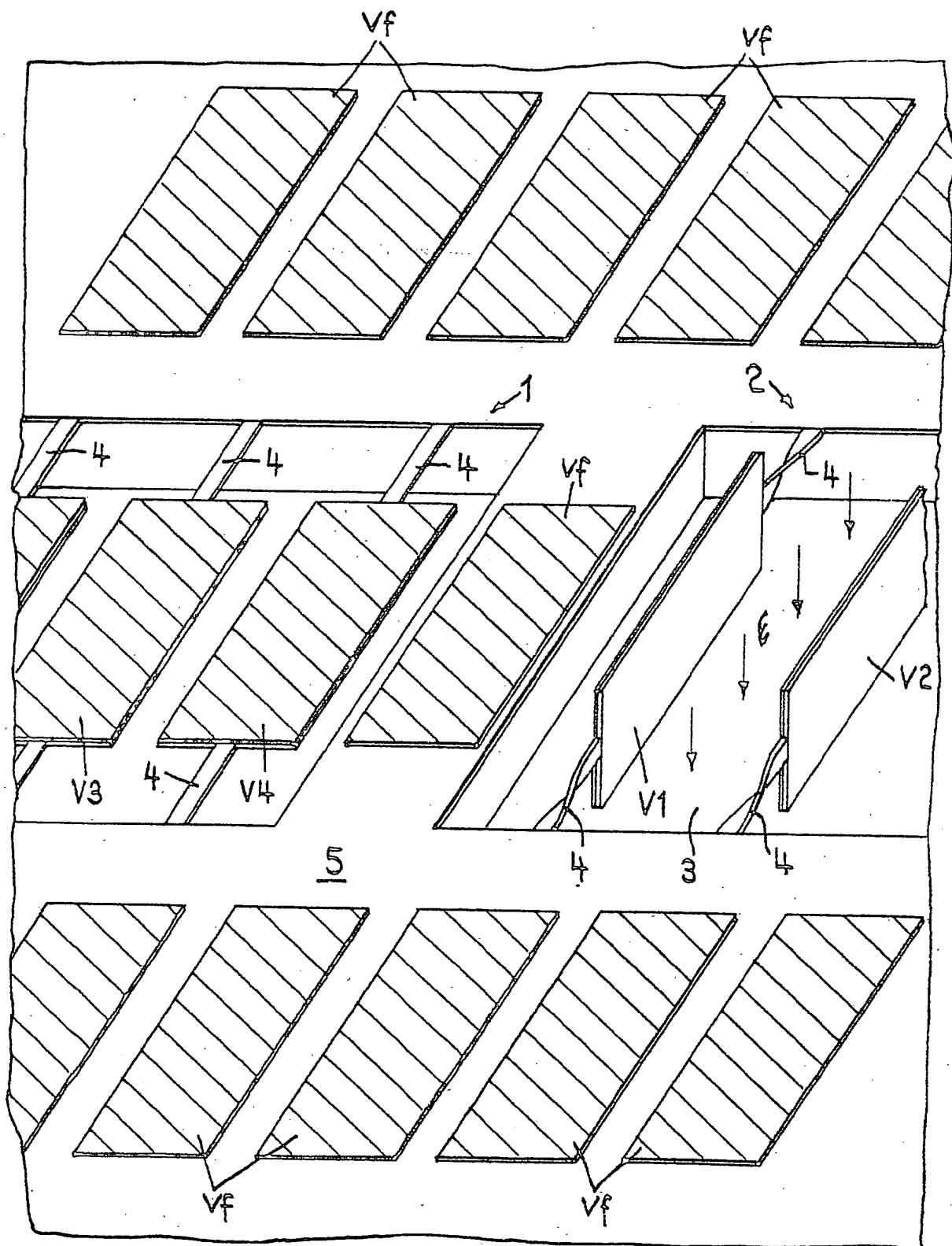


FIG. 2

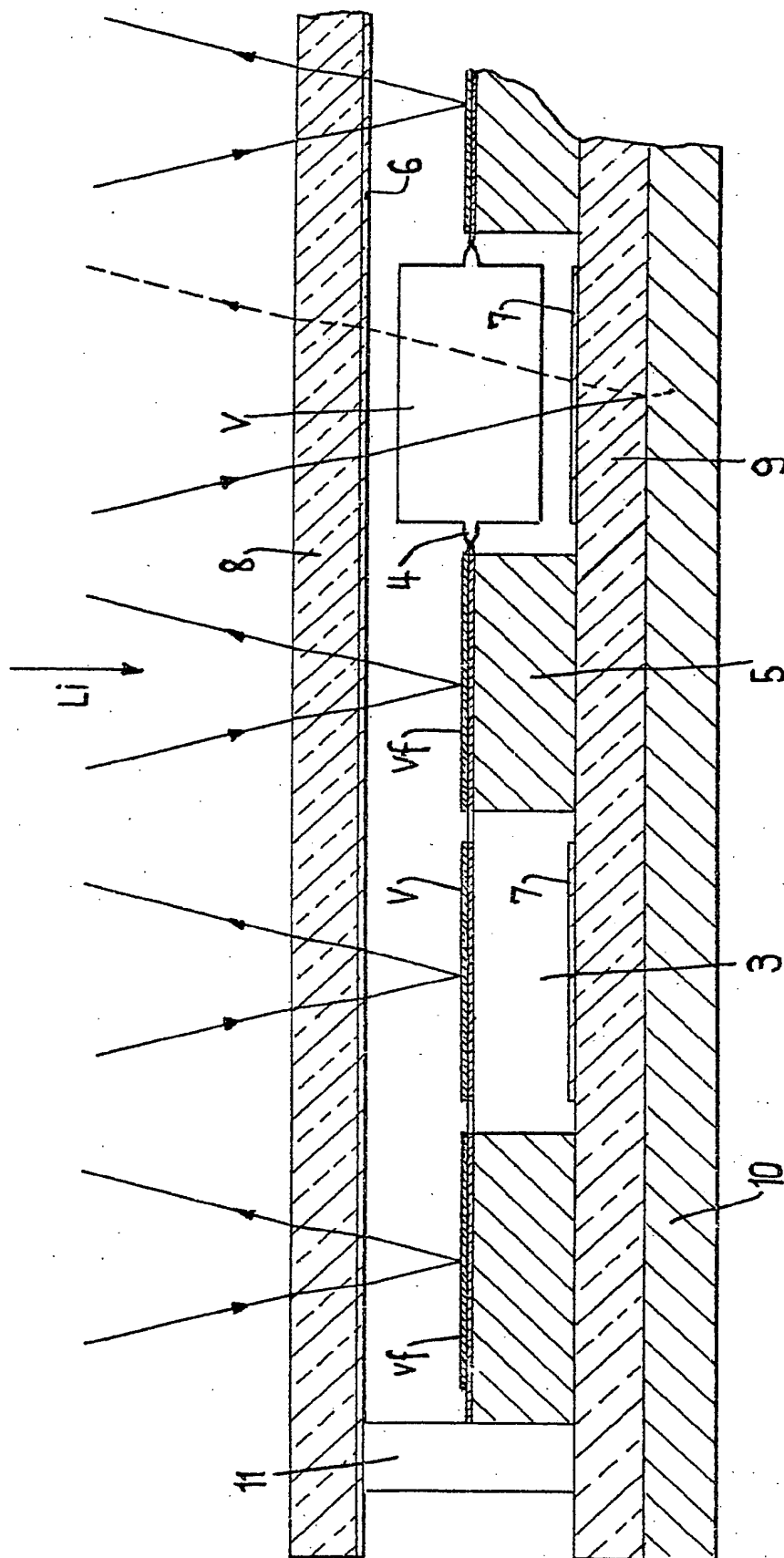


FIG. 3

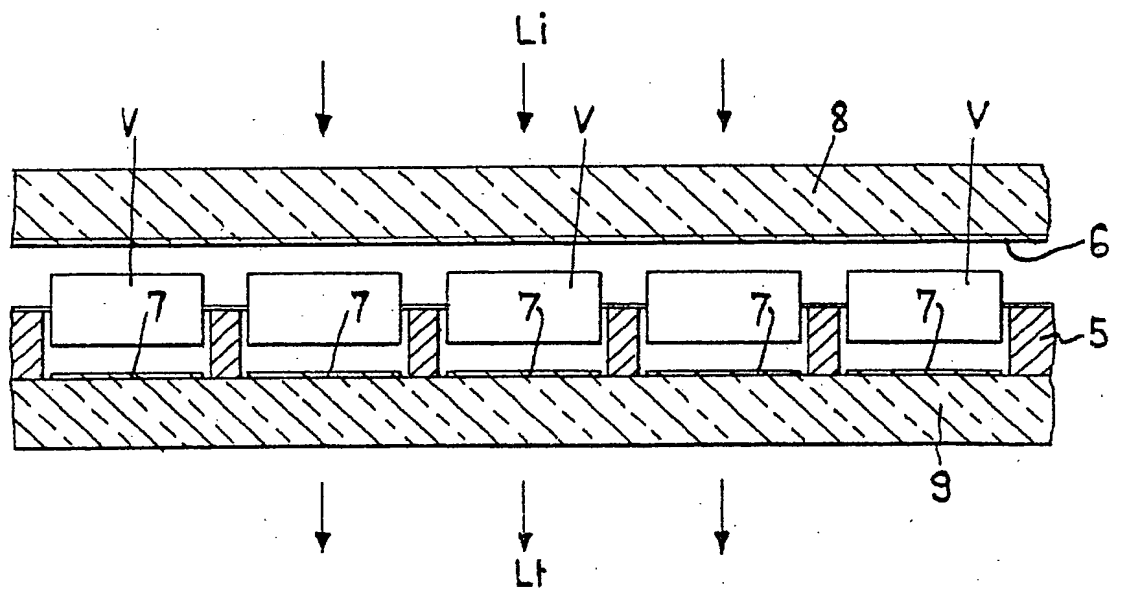
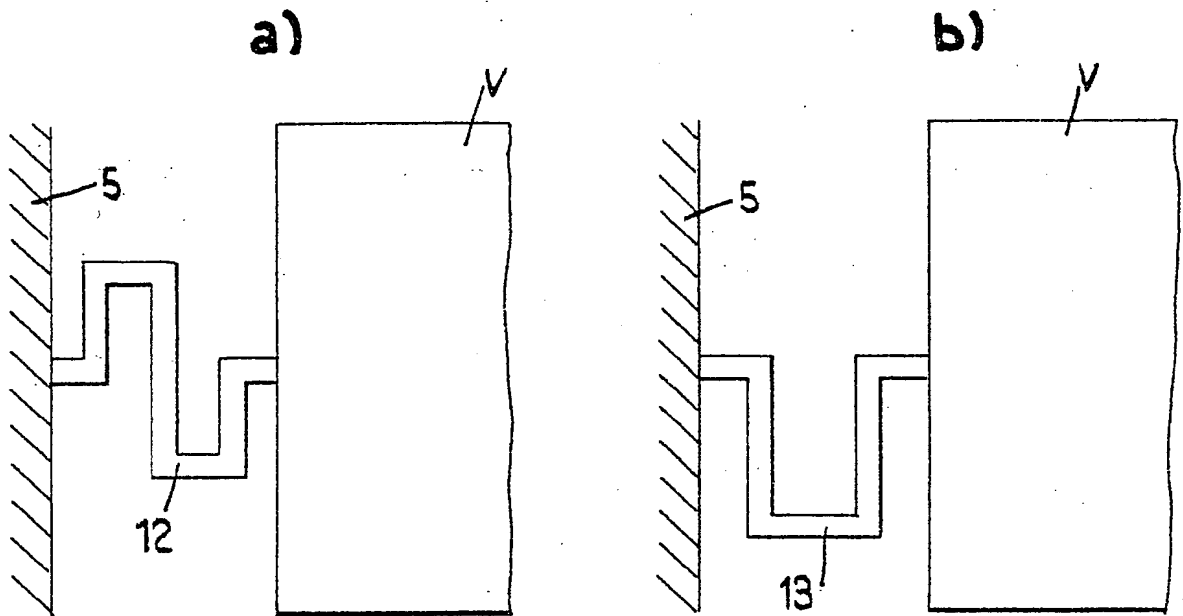
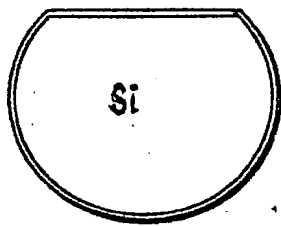
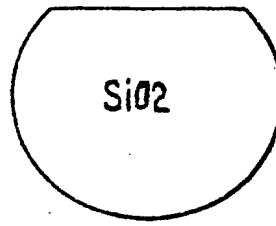


FIG. 4

FIG. 5 **a (F)**



b (D)



c

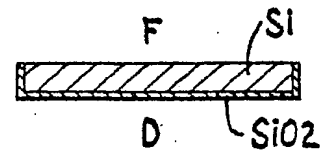
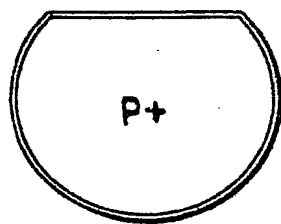
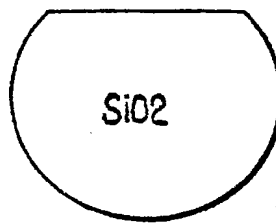


FIG. 6 **a**



b



c

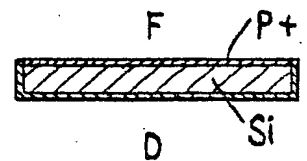
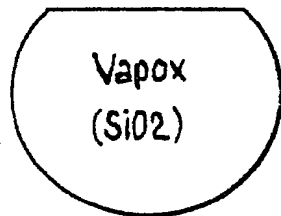
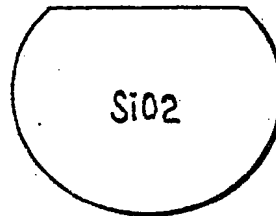


FIG. 7 **a**



b



c

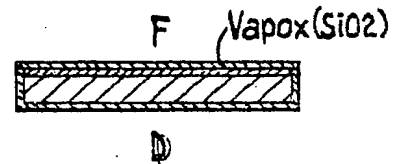
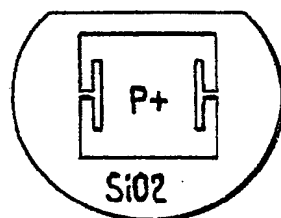
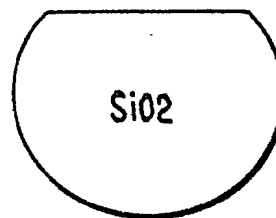


FIG. 8 **a**



b



c

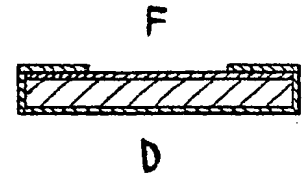
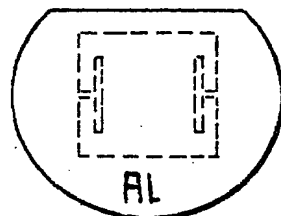
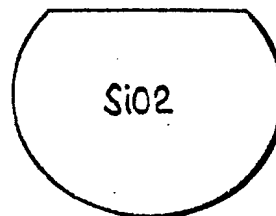


FIG. 9 **a**



b



c

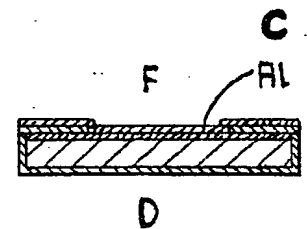


FIG. 10

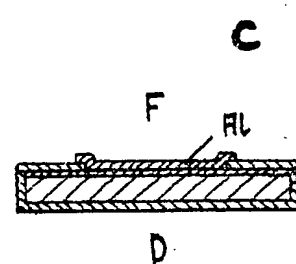
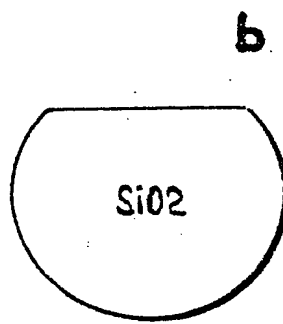
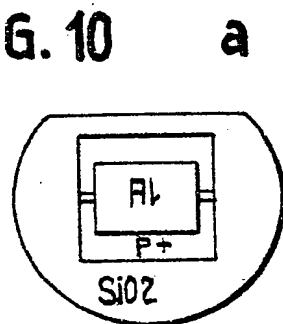


FIG. 11

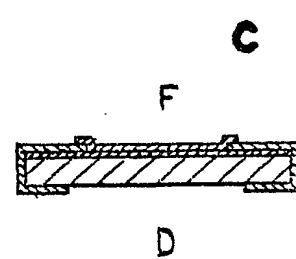
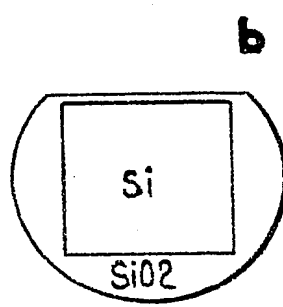
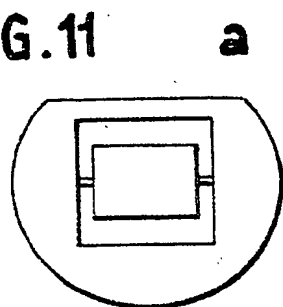


FIG. 12

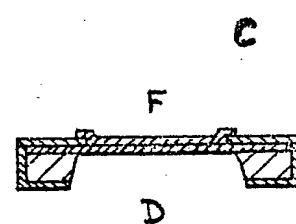
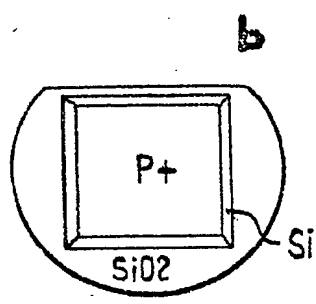
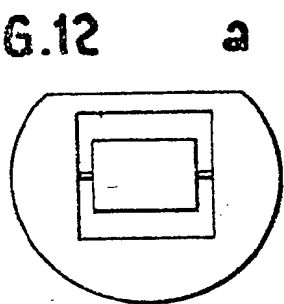


FIG. 13

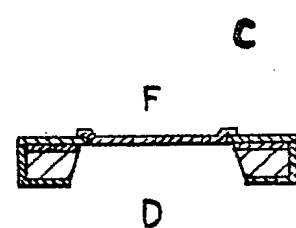
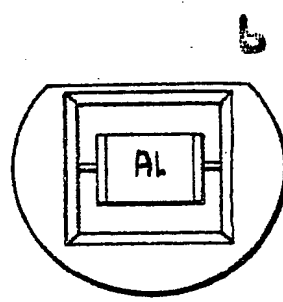
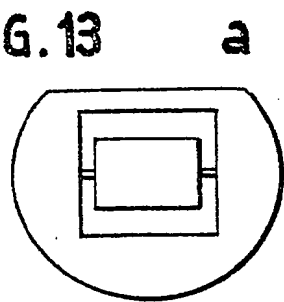


FIG.14

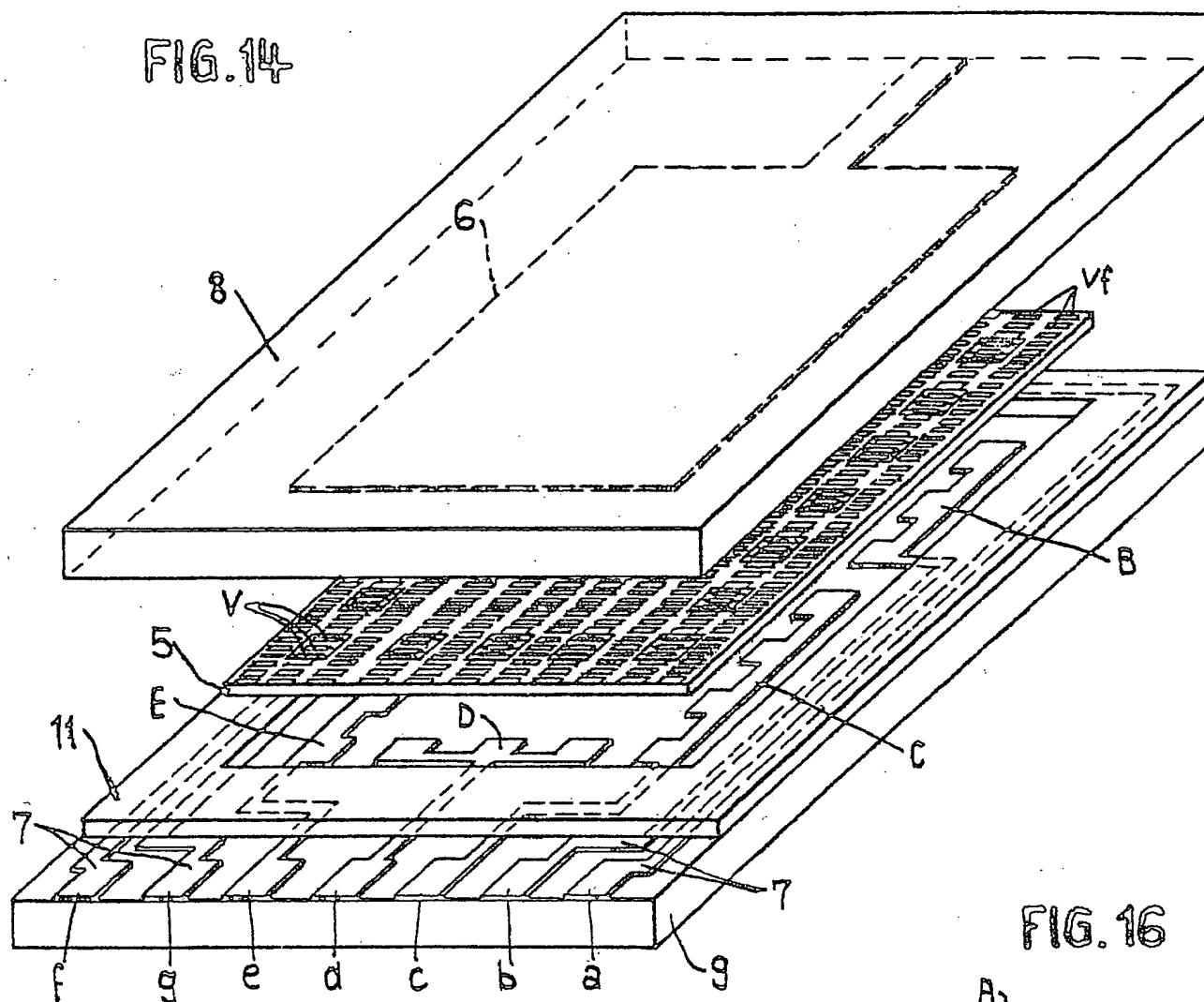


FIG.15

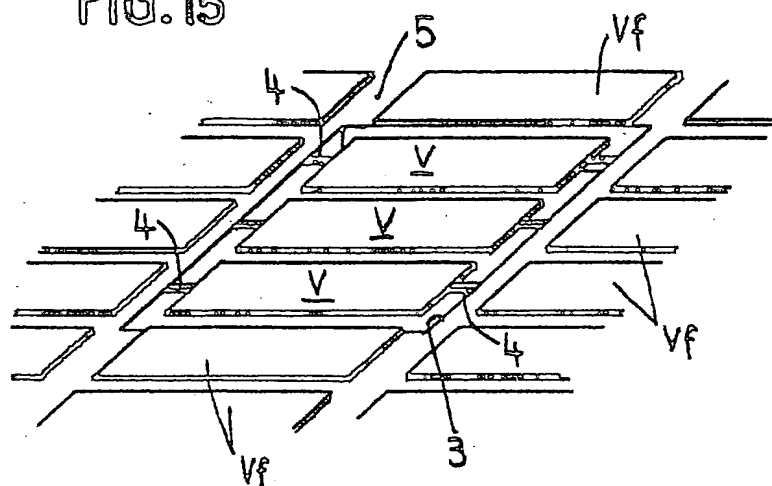


FIG.16

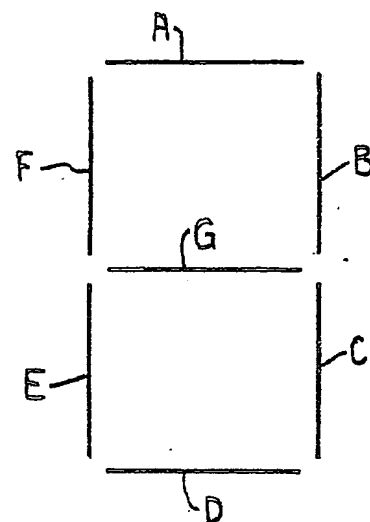


FIG.17

